

(11)Publication number : 2001-021503
(43)Date of publication of application : 26.01.2001

(51)Int.Cl. G01N 22/00
G01J 9/02
G01N 21/00
G01N 21/41
G01R 23/16
G01R 27/26

(21)Application number : 11-196723

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY CORP

(22)Date of filing : 09.07.1999

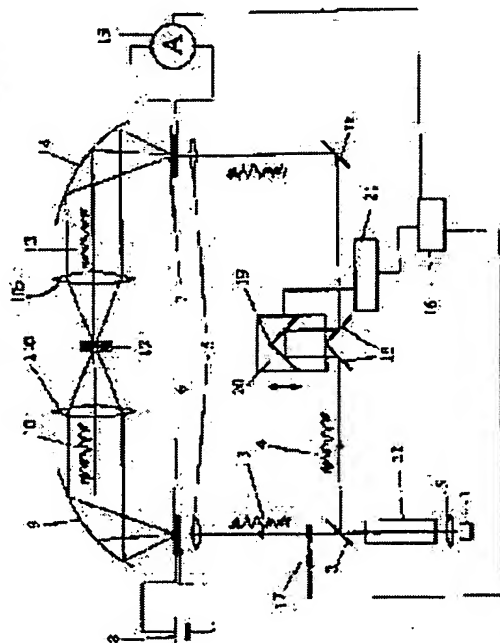
(72)Inventor : HAGIYUKI MASANORI
MORIKAWA OSAMU
TOUCHI MASAKICHI

(54) TERAHERTZ BAND COMPLEX DIELECTRIC CONSTANT MEASURING SYSTEM

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To detect a synchronized signal on the basis of incoherent light fluctuation as well as detecting characteristics of a sample by applying thereto an electromagnetic wave generated by incoherent light that is a light containing random intensity modulation with a short timescale.

SOLUTION: Laser light that is an incoherent light is split by a beam splitter 2. One split laser light 3 is applied to a light conductive element 6 for electromagnetic wave radiation, so that an electromagnetic wave 10 is radiated therefrom. The electromagnetic wave 10 is paralleled by a parabolic mirror 9, and is transmitted through a sample 12 or reflected therefrom. This electromagnetic wave 10 to be detected is collected via a parabolic mirror 14 into a light conductive element 7 for electromagnetic wave detection, while the other split laser light 4 is time-delayed and applied thereto. A mutual correlation signal between the electromagnetic wave 10 to be detected and the incoherent laser light 4 is detected as an electric current.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

30.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-21503

(P2001-21503A)

(43) 公開日 平成13年1月26日 (2001.1.26)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

G 0 1 N 22/00

G 0 1 N 22/00

F 2 G 0 2 8

W 2 G 0 5 9

X

G 0 1 J 9/02

G 0 1 J 9/02

G 0 1 N 21/00

G 0 1 N 21/00

B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平11-196723

(22) 出願日

平成11年7月9日 (1999.7.9)

特許法第30条第1項適用申請有り 1999年3月28日 社
団法人応用物理学会発行の「1999年 (平成11年) 春季第
46回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 第3分冊」
に発表

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 萩行 正憲

大阪府高槻市弥生が丘町25-16

(72) 発明者 森川 治

大阪府吹田市千里山5-32-12

(72) 発明者 斗内 政吉

大阪府箕面市小野原東4-9-23

(74) 代理人 100082876

弁理士 平山 一幸 (外1名)

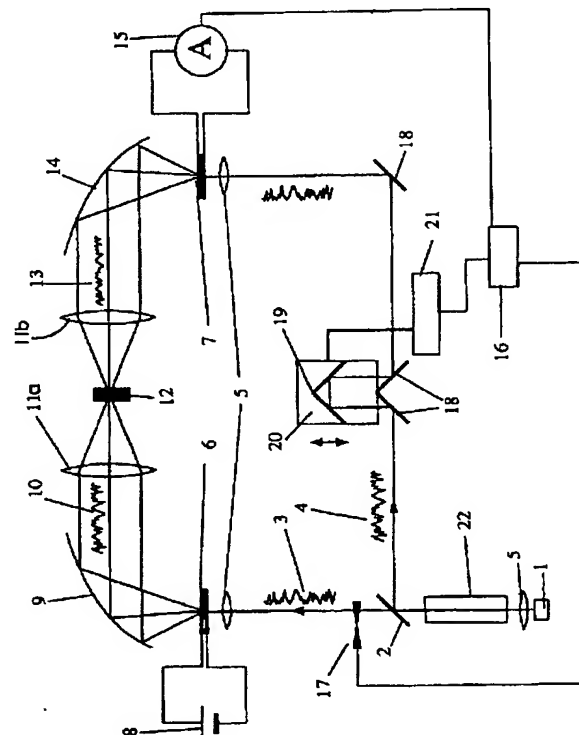
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 テラヘルツ帯複素誘電率測定装置

(57) 【要約】

【課題】 インコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期
信号を検出するとともに、短い時間スケールでのランダ
ムな強度変調を含む光であるインコヒーレント光により
発生した電磁波を試料に照射してその試料の特性を検出
するテラヘルツ帯複素誘電率測定装置を提供する。

【解決手段】 インコヒーレント光であるレーザー光を
ビームスプリッタ2で分割し、一方のレーザー光3を電
磁波放射用光伝導素子6に照射して電磁波10を放射す
る。これを放物面鏡9で平行化して試料12を透過又は
反射させる。この検出すべき電磁波を放物面鏡14によ
り電磁波検出用光伝導素子7に集めるとともに、分割し
た他方のレーザー光4を時間遅延化して照射する。検出
すべき電磁波とインコヒーレント光であるレーザー光4
との相互相関信号を電流として検出する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 分割した一方のインコヒーレント光と、この一方のインコヒーレント光に基づき発生する電磁波と、分割した他方のインコヒーレント光とを有し、上記電磁波が試料を透過又は反射してきた検出すべき電磁波を、上記他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期した相互相関信号を用いて検出する、テラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項2】 2光束に分割したインコヒーレント光と、この分割した一方のインコヒーレント光の照射に基づき電磁波を放射する電磁波放射手段と、分割した他方のインコヒーレント光に時間遅延を与える遅延化処理手段と、検出用の上記他方のインコヒーレント光と検出すべき電磁波との相互相関信号が生じる電磁波検出手段とを備え、上記放射した電磁波を試料に照射して、透過又は反射してきた検出すべき電磁波と上記時間遅延した他方のインコヒーレント光とが上記電磁波検出手段に同時に入射して生じる相互相関信号を、上記他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期して検出する、テラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項3】 インコヒーレント光をビームスプリッタによって2光束に分割し、分割した一方のインコヒーレント光を電圧印加した放射用光伝導素子に照射して電磁波を発生させ試料を透過させた後に検出すべき電磁波を検出用光伝導素子に導くとともに、分割した他方のインコヒーレント光を検出用光伝導素子に照射して、この検出用光伝導素子に上記検出すべき電磁波に基づいて生じる相互相関信号である電流信号を、上記他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期して検出する、テラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項4】 前記インコヒーレント光に基づき発生する電磁波が1GHz～10THz程度の様々な周波数成分を含んでいることを特徴とする、請求項1～3のいずれかに記載のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項5】 前記検出すべき電磁波における各周波数成分の減衰及び位相遅れを前記相互相関信号のフーリエ変換から求めることを特徴とする、請求項1～4のいずれかに記載のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項6】 前記相互相関信号が前記一方のインコヒーレント光に基づき放射した電磁波の振幅と前記他方のインコヒーレント光の強度との乗算であることを特徴とする、請求項1～5のいずれかに記載のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項7】 前記インコヒーレント光が0.1ピコ秒程度の短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光であることを特徴とする、請求項1～6のいずれかに記載のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【請求項8】 前記インコヒーレント光がマルチモード半導体レーザーを光源としていることを特徴とする、請

求項1～7のいずれかに記載のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は半導体、誘電体等の材料評価に利用し、特にテラヘルツ帯で使用する素子を構成する材料の複素屈折率などを測定するテラヘルツ帯複素誘電率測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、テラヘルツ帯の物性評価に対しては電磁波を空中伝播させ、分光的に評価することが行われてきた。この分光的評価では単一周波数電磁波源を用いて試料を電磁波パスに挿入することによる透過率と位相遅れ等を測定するが、試料によっては透過率と反射率を測定することもある。これによってその周波数での屈折率（実部）及び吸収（屈折率虚数部）が計算できる。

【0003】このような周波数領域に対する電磁波源としては、後進波管や分子レーザーなどが挙げられる。また複素屈折率測定装置としては、干渉計を用いたフーリエ分光計が用いられ、検出にはInSb等、固体中の電子ガスの電磁波吸収による抵抗変化を測定するホットエレクトロンボロメタが多用される。

【0004】しかし、広い周波数帯についてはこれらの方法を適用するのは難しい。それは第一に、これらの電磁波源は周波数が離散的、或いは可変であっても周波数範囲が狭いことである。第二に、これらの電磁波源は時間的に連続発振しているため、広帯域の複素屈折率を求めるには手間がかかる。すなわち、ある周波数における複素屈折率を求めるためには、透過率・位相遅れの測定が必要である。位相遅れの測定には周波数を固定したまま干渉計を動かし、出力信号の最低値或いは最大値を出す光路差を決定しなければならない。広帯域の透過率・位相遅れを測定するには周波数を逐一変え、上記操作を繰り返す必要がある。

【0005】これらの課題を解決するため、パルスレーザー励起の光伝導素子を用いた分光法が1985年頃開発された（Physical Review Letters vol. 55 (1985), pp. 2152-2155、Infrared Physics vol. 26 (1986), pp. 23-27、他）。この光伝導素子を用いた分光法では、光伝導素子をサブピコ秒の超短光パルスで照射すれば光キャリアの生成により瞬間的に導電性となって電流が過渡的に流れることを利用して電磁波放射を行っている。また、光パルスの照射により瞬間的に導電性となることを利用することにより放射電磁波の検出も行われている。

【0006】光パルスを用いた例では、1THz近傍の高周波電磁波に対する試料の応答を測定するための方法として、TDS (Time Domain Spectroscopy) と呼ばれるものがある。図4は従来の

TDSの概略構成図である。この図に示すように、TDSでは、モードロックTi:Sapphireレーザーなどから超短パルス光23をビームスプリッタ24で分割し、一方のパルス光25を電圧印加した電磁波放射用光伝導素子28に照射する。電磁波放射用光伝導素子28には瞬間的に電流が流れるため、パルス電磁波32を放射する。これを放物面鏡31で平行化して試料34を透過させ、放物面鏡36により電磁波検出用光伝導素子29に集める。

【0007】電磁波検出用光伝導素子29はビームスプリッタ24で分割されたもう一方の超短パルス光26で照射され、その瞬間だけ導電性となる。そのため到達してきた電磁波35の電場を電流として検出することができる。ビームスプリッタ24から電磁波検出用光伝導素子29に到達するまでの時間を遅延系(41, 42)で変えることにより、試料を透過して来た電磁波35の時間波形を得ることができる。

【0008】なお、図4中、27はレンズ、30は電源、33は電磁波用レンズ、34は試料、37は電流増幅器、38はロックイン増幅器、39は光チョップ、40は平面鏡、41はリトロフレクタ、42は移動ステージ、43はコンピュータを示す。

【0009】このTDSの方法では、用いられる電磁波が短パルスであるため、試料を透過してきた電磁波波形と試料を挿入しない場合の電磁波波形とを比較することにより、広い周波数にわたる電磁波の透過率・位相遅れを計算することができる。

【0010】ところで、検出用光伝導素子は光パルス照射の間のパルス電磁場電場による電流を検出するが、光パルスの時間幅はパルス電磁波の時間幅よりも数十分の一程度とかなり短い。例えば光パルスは時間幅が0.1ピコ秒程度であり、パルス電磁波の時間幅はアンテナ効率が入るため数ピコ秒程度である。

【0011】したがって、光パルスもパルス電磁波も光速で検出用光伝導素子に繰り返し入射するが、各回においてパルス電磁波の最初の部分から最後の部分までが到達する時間に比較して光パルスの照射時間は短い。そのため、光パルスが照射している間の検出用光伝導素子に流れる電流はパルス電磁波の電場のごく短い部分によるものであり、さらに光パルスとパルス電磁波とが検出用光伝導素子に到達するタイミングは時間遅延により固定されている。

【0012】光パルスの繰り返し周波数が例えば約100MHzの場合、光パルスとパルス電磁波とが毎秒約108回検出用光伝導素子に入射してくるが、パルス電磁波の電場のごく短い部分は毎回パルス電磁波波形のうち時間遅延によって決められた部分であり、全く同じ電流が毎秒約108回流れることになる。実際の電流計はこのような速い電流の変化に追従できないため、毎秒約108回のパルス電流の平均値が測定される。したがっ

て、パルス電磁波波形のうち時間遅延によって決められた部分が電流として測定され、さらに時間遅延をずらしていくことによりパルス電磁波波形の他の部分も測定できる。

【0013】このようにTDSでは電磁波の時間波形を測定することができる。この時間波形を、試料を挿入した場合と試料を挿入しない場合について求めてフーリエ変換し、各周波数成分ごとの振幅及び位相を比較することにより試料がもたらす減衰及び位相遅れがわかり、これから複素誘電率や複素屈折率などを計算することができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、TDSでは励起光が短パルスでなければならず、光源にはモードロックなどの短パルス化が施されている必要がある。

【0015】そこで、この発明は上記の課題にかんがみて、インコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期信号を検出するとともに、短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光であるインコヒーレント光により発生した電磁波を試料に照射して、その試料の特性を検出するテラヘルツ帯複素誘電率測定装置を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置は、分割した一方のインコヒーレント光と、一方のインコヒーレント光に基づき発生する電磁波と、分割した他方のインコヒーレント光とを有し、電磁波が試料を透過又は反射してきた検出すべき電磁波を、他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期した相互相関信号を用いて検出する構成とした。

【0017】また請求項2記載の発明は、2光束に分割したインコヒーレント光と、分割した一方のインコヒーレント光の照射に基づき電磁波を放射する電磁波放射手段と、分割した他方のインコヒーレント光に時間遅延を与える遅延化処理手段と、検出用の光と検出すべき電磁波との相互相関信号が生じる電磁波検出手段とを備え、放射した電磁波を試料に照射して、透過又は反射してきた検出すべき電磁波と時間遅延した他方のインコヒーレント光とが電磁波検出手段に同時に入射して生じる相互相関信号を、他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期して検出する構成である。

【0018】さらに請求項3記載の発明は、インコヒーレント光をビームスプリッタによって2光束に分割し、分割した一方のインコヒーレント光を電圧印加した放射用光伝導素子に照射して電磁波を発生させ試料を透過させた後に検出すべき電磁波を検出用光伝導素子に導くとともに、分割した他方のインコヒーレント光を検出用光伝導素子に照射して、検出用光伝導素子に検出すべき電磁波に基づいて生じる相互相関信号である電流信号を、

他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期して検出する構成とした。

【0019】また請求項4記載の発明は、上記構成に加え、インコヒーレント光に基づき発生する電磁波が1GHz～10THz程度の様々な周波数成分を含んでいることを特徴とする。さらに請求項5記載の発明は、検出すべき電磁波における各周波数成分の減衰及び位相遅れを相互相関信号のフーリエ変換から求めることを特徴とする。また請求項6記載の発明は、相互相関信号が前記一方のインコヒーレント光に基づき放射した電磁波の振

幅と前記他方のインコヒーレント光の強度との乗算であることを特徴とする。また、請求項7記載の発明は、インコヒーレント光が0.1ピコ秒程度の短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光であることを特徴とする。さらに、請求項8記載の発明は、インコヒーレント光がマルチモード半導体レーザーを光源としていることを特徴とする。

【0020】このような構成により、本発明では分割した一方のインコヒーレント光に基づいて発生したテラヘルツ帯の放射電磁波を試料に照射し、試料を透過又は反

射してきた検出すべき電磁波を分光する。このとき分割した他方のインコヒーレント光が照射中に検出すべき電磁波を、他方のインコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期した相互相関信号として検出する。したがって本発明では、短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光であるインコヒーレント光により発生したテラヘルツ帯の電磁波を試料に照射してその試料の特性を検出することができる。

【0021】
【発明の実施の形態】この発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置は、0.1ピコ秒程度の短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光であるインコヒーレント光を励起する光源と、このインコヒーレント光を分割する光分割手段と、分割した一方のインコヒーレント光の照射に基づき電磁波を放射する電磁波放射手段と、この放射した電磁波を平行化又は集光する第1光処理手段と、電磁波を試料に透過又は反射させて集光する第2光処理手段と、電磁波を検出する電磁波検出手段とを備え、一光電磁波経路を形成している。

【0022】さらに分割した他方のインコヒーレント光に時間遅延を付与する遅延化処理手段と、試料からの電磁波を電磁波検出手段に入射すると同時に、この時間遅延を付与されたインコヒーレント光を電磁波検出手段に入射するようにした一光経路の光学距離を調節可能に形成し、この一光経路と上述した一光電磁波経路の光学距離はほぼ等しくなるように構成されている。

【0023】インコヒーレント光の光源としてはマルチモード半導体レーザーが使用でき、これは小型、安定及び廉価である。電磁波放射手段は光伝導素子が使用できる。この電磁波放射用光伝導素子では光が照射されると

伝導度が光強度に比例し、光強度に強度変調がある場合には変調を含む電流が流れ、電磁波が発生する。なお、インコヒーレント光に基づき発生する電磁波は1GHz～10THz程度の様々な周波数成分を含んでいる。また電磁波検出手段にも光伝導素子が使用でき、この電磁波検出用光伝導素子では光が照射されると伝導度が光強度に比例する。したがって、光強度と電磁波の電場との積を電流として検出可能であり、電磁波検出用光伝導素子は乗算器として働く。

【0024】分割したインコヒーレント光と、試料を透過又は反射してきた電磁波とを容易に同期させることができる。したがってインコヒーレント光の揺らぎを用いて同期信号を検出可能である。また第1光処理手段及び第2光処理手段は放物面鏡やレンズなどの光学的手段で構成される。なお、本発明では電磁波検出手段について寒剤は不要である。

【0025】次に、この発明に係るテラヘルツ帯複素誘電率測定装置の作用を説明する。本発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置では、光源のインコヒーレント光を励起光として電磁波放射用光伝導素子に照射して電磁波を発生させる。詳細は後述するが、インコヒーレント光は短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光であるため、この強度変調に対応して広帯域の電磁波が発生する。

【0026】この広帯域電磁波を試料に照射し、もうひとつの電磁波検出用光伝導素子に集光し、さらに励起光のインコヒーレント光を一部分割して電磁波検出用光伝導素子に照射すると電流が生じる。この電流は励起光の強度に依存する電磁波検出用光伝導素子の伝導度と電磁波の電場の積で表される。周波数がテラヘルツ帯で非常に高いため、これを積分して時間平均をとった値、すなわち励起光強度と放射電磁波の電場の相互相関信号が実際に検出される電流である。

【0027】例えばマルチモード半導体レーザーの光強度は数十から数百GHz程度のランダムな変調を受けている。したがって、マルチモード半導体レーザーのレーザー光を励起光に用いると電磁波放射用光伝導素子の光電流は変調され、広帯域の電磁波が放射される。試料を透過又は反射した電磁波を電磁波検出用光伝導素子に集光し、かつ、光路差をつけたレーザー光を電磁波検出用光伝導素子に照射すると、電磁波の電場とレーザー光の光強度変調に応じた電流が生じる。

【0028】この得られた電流信号は、光強度のランダムな変調が様々な周波数成分を含むため、各周波数成分の重ね合わせとみなすことができる。光伝導素子及び試料は照射光強度や電磁波に対して線形に応答するため、電流信号の個々の周波数成分は対応する周波数の光強度変調及び電磁波のみによって担われているとみなせる。したがって、検出した電流信号をフーリエ変換すれば、各周波数成分での信号を一度にもとめることができる。

【0029】反射率の高い試料については反射した電磁波の方を検出し、試料を金属鏡で置き換えた場合の信号と比較することにより試料の複素誘電率などを得ることも可能である。

【0030】次に、この発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置において信号を検出する原理について説明す *

$$E(t) = \int F(t-t') I(t') dt' \quad \dots (1)$$

【0032】さらに試料を透過した電磁波の電場 $E_T(t)$ は、試料の透過に関する応答関数 $T(t)$ を用※

$$E_T(t) = \int T(t-t') E(t') dt' \quad \dots (2)$$

【0034】 $E(t)$ 、 $I(t)$ 、 $F(t)$ 、 $E_T(t)$ 及び $T(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ、 $E(\omega)$ 、 $I(\omega)$ 、 $F(\omega)$ 、 $E_T(\omega)$ 及び $T(\omega)$ ★

$$E(\omega) = F(\omega) I(\omega) \quad \dots (3)$$

$$E_T(\omega) = T(\omega) E(\omega) \quad \dots (4)$$

【0036】さらに時間遅延が τ のとき、試料を放射電磁波経路に挿入しない場合の電流信号 $J_R(\tau)$ と挿入した場合の電流信号 $J_T(\tau)$ は、検出用光伝導素子の応答が光強度の変調の時間スケールよりも十分短い場合☆

$$J_R(\tau) = C\sigma \int E(t) I(t-\tau) dt \quad \dots (5)$$

$$J_T(\tau) = C\sigma \int E_T(t) I(t-\tau) dt \quad \dots (6)$$

【0038】 $J_R(\tau)$ 及び $J_T(\tau)$ の各フーリエ成分 $J_R(\omega)$ 及び $J_T(\omega)$ は、式(5)及び式(6)の両辺をフーリエ変換することによりそれぞれ次のよう◆

$$J_R(\omega) = C\sigma E(\omega) I(-\omega) \quad \dots (7)$$

$$J_T(\omega) = C\sigma E_T(\omega) I(-\omega) \quad \dots (8)$$

【0040】試料の電磁波透過率と位相遅れは $T(t)$ のフーリエ成分 $T(\omega)$ の振幅の二乗と位相で表すことができる。式(3)、(4)、(7)及び(8)を用い*

$$T(\omega) = E_T(\omega) / E(\omega) = J_T(\omega) / J_R(\omega) \quad \dots (9)$$

【0042】したがって試料を電磁波経路に挿入しない場合の電流信号と試料を挿入した場合の電流信号とから、試料の電磁波透過率と位相遅れが求められる。試料の複素誘電率の実数部と虚数部は電磁波透過率と位相遅れから計算することができる。

【0043】次に、具体的な実施の形態を説明する。図1はこの発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置に係る実施の形態の概略構成図である。TDSにおける短パルス光の代わりにインコヒーレント光とその揺らぎに基づいて同期し信号検出する構成である。マルチモード半導体レーザー1からのレーザー光をビームスプリッタ2で分割し、一方の電磁波放射用のレーザー光3を電圧印加した電磁波放射用光伝導素子6に照射する。電磁波放射用光伝導素子6には高速変調を受けた電流が流れるため、電磁波10を放射する。これを放物面鏡9で平行化して試料12を透過させ、放物面鏡14により電磁波検出用光伝導素子7に集める。

【0044】なお、図1に示したように試料12が小さい場合或いは試料の小さい領域の透過を調べる場合などは電磁波用レンズ11aを用いて電磁波ビーム径を小さ

＊る。放射された電磁波の電場 $E(t)$ を、電磁波放射用光伝導素子を照射する光強度 $I(t)$ と、電磁波放射用光伝導素子に関する放射電磁波の照射光強度に対する応答関数 $F(t)$ を用いて表すと積分範囲 $[-\infty, t]$ で次のようになる。

【0031】

※いて表すと、積分範囲 $[-\infty, t]$ で次のようになる。

【0033】

★と書くと、式(1)及び式(2)の両辺をフーリエ変換することにより次のようになる。

【0035】

☆には、伝導度の光強度に対する係数 $C\sigma$ を用いて表すと、積分範囲 $[-\infty, \infty]$ で次のようになる。

【0037】

◆になる。

【0039】

＊ると $T(\omega)$ は次のようになる。

【0041】

くし透過してきた電磁波を電磁波用レンズ11bで平行化することも可能である。

【0045】電磁波検出用光伝導素子7はビームスプリッタ2で分割されたもう一方の電磁波検出用のレーザー光4で照射され、時間的にレーザー光強度の変調を反映した導電性を示し、この間に透過してきた電磁波を検出用光伝導素子7で電流として検出する。ビームスプリッタ2から検出用光伝導素子7に到達するまでの時間を遅延系(19, 20)で変えることにより、レーザー光強度と電磁波13の時間相関が得られる。

【0046】なお、図1中、5はレンズ、8は電磁波放射用光伝導素子の電源、15は電磁波検出用光伝導素子で検出した電流を増幅する電流増幅器、16はロックイン増幅器、17は光チョッパ、18は平面鏡、19はリトロリフレクタ、20は移動ステージ、21はコンピュータ、22は光アイソレータを示す。

【0047】電磁波経路に試料がない場合とn型Siウエハ(2~3Ω・cm、厚さが0.630mm)を挿入した場合の電流信号を図2に示す。また図2のデータから計算された複素屈折率を図3に示す。なお、図3中の

40

50

実線はドルーデモデル (Drude model) による計算値を示す。このように電磁波経路に試料がある場合と無い場合のインコヒーレント光による検出用光伝導素子7の電流信号を比較することにより、インコヒーレント光のランダムな変調による信号に基づいた高周波電磁波領域に対する試料の応答を測定することができ、これから複素誘電率を計算することができる。

【0048】

【発明の効果】以上の説明から理解されるように、この発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置は、インコヒーレント光の揺らぎに基づいて同期信号を検出し、短い時間スケールでのランダムな強度変調を含む光により発生した電磁波を試料に照射して、その試料の特性を検出することができるという効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明のテラヘルツ帯複素誘電率測定装置に係る実施の形態の概略構成図である。

【図2】この発明に係る遅延時間に対する電流信号を示す図である。

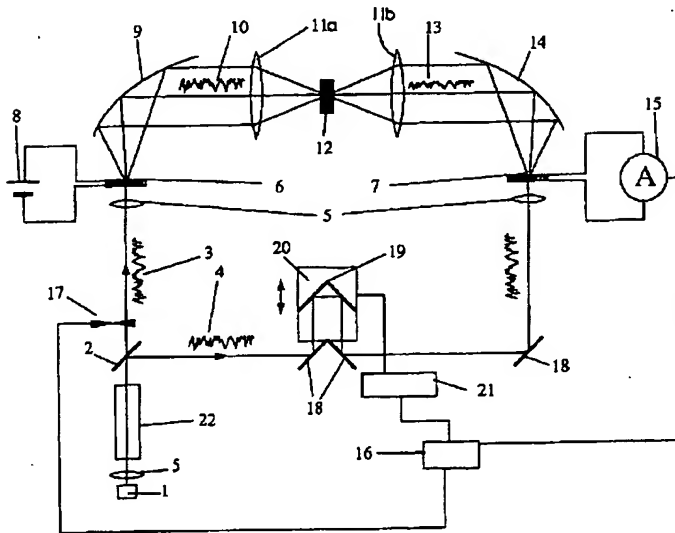
【図3】図2のデータから計算された複素屈折率を示す図である。

【図4】従来のTDSの概略構成図である。

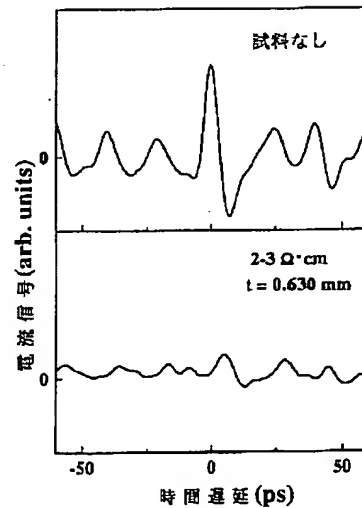
*【符号の説明】

- 1 マルチモード半導体レーザー
- 2, 24 ビームスプリッタ
- 3 電磁波放射用のレーザー光
- 4 電磁波検出用のレーザー光
- 5, 27 レンズ
- 6, 28 電磁波放射用光伝導素子
- 7, 29 電磁波検出用光伝導素子
- 8, 30 電源
- 9, 14, 31, 36 放物面鏡
- 10 電磁波
- 11a, 11b, 33 電磁波用レンズ
- 12, 34 試料
- 13 電磁波
- 16, 38 ロックイン増幅器
- 17, 39 光チョッパ
- 18, 40 平面鏡
- 19, 41 リトロリフレクタ
- 20, 42 移動ステージ
- 21, 43 コンピュータ
- 22 光アイソレータ
- 23 光パルス

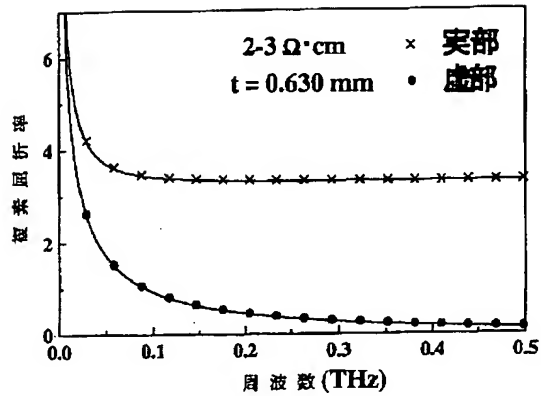
【図1】



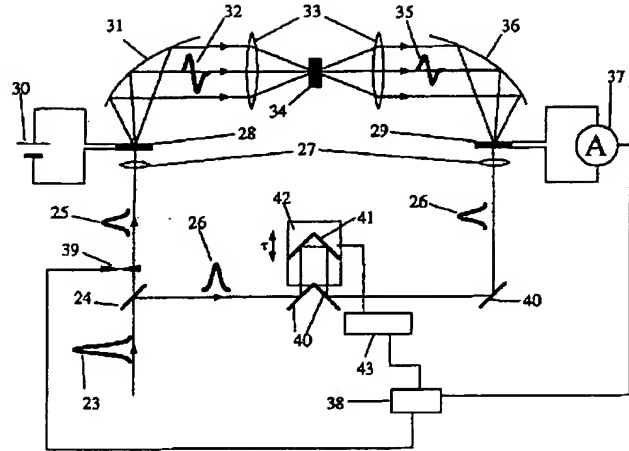
【図2】



【図3】



【図4】



【手続補正書】

【提出日】平成11年7月22日(1999. 7. 2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】試料の電磁波透過率と位相遅れは $T(t) *$

$$T(\omega) = J_T(\omega) / J_R(\omega)$$

*のフーリエ成分 $T(\omega)$ の振幅の二乗と位相で表すことができる。 $T(\omega)$ は次のようになる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】

... (9)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 1 N 21/41

G 0 1 N 21/41

Z

G 0 1 R 23/16

G 0 1 R 23/16

C

27/26

27/26

H

F ターム(参考) 2G028 AA03 CG09 CG12 CG15 DH15

DH17 FK02 GL06

2G059 AA03 EE01 EE02 EE15 GG01

GG02 GG06 GG10 JJ14 JJ22

JJ24 LL01 MM01